

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

02/8088-SNY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000269207 A

(43) Date of publication of application: 29 . 09 . 00

(51) Int. Cl.

H01L 21/316
H01L 21/768

(21) Application number: 11072252

(71) Applicant: CANON SALES CO
INC HANDOTAI PROCESS
KENKYUSHO:KK

(22) Date of filing: 17 . 03 . 99

(72) Inventor: MAEDA KAZUO

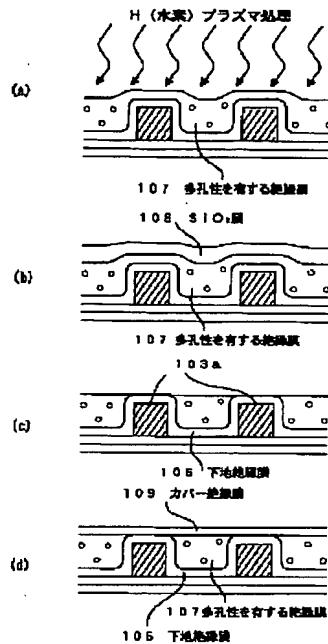
(54) FORMING METHOD OF INTERLAYER
INSULATING FILM AND SEMICONDUCTOR
DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a method of forming a low-permittivity interlayer insulating film, which is high in moisture resistance and satisfactory in heat resistance, and a semiconductor device provided therewith.

SOLUTION: An interlayer insulating film is formed through a method, where a compound containing Si and C is polymerized by the use of plasma to form an Si-C film or an Si-C-H film 106 on a base insulating film 105, the Si-C film or the Si-C-H film 106 is oxidized by O(oxygen) plasma into a porous SiO₂ film 107, the porous SiO₂ film 107 is plasma processed with H(hydrogen), and a cover insulating film 109 is formed on the porous SiO₂ film 107.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-269207

(P2000-269207A)

(43)公開日 平成12年9月29日(2000.9.29)

(51)Int.Cl.⁷

H 01 L 21/316
21/768

識別記号

F I

H 01 L 21/316
21/90

テマコード(参考)

X 5 F 0 3 3
S 5 F 0 5 8

審査請求 有 請求項の数20 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平11-72252

(22)出願日 平成11年3月17日(1999.3.17)

(71)出願人 390002761

キヤノン販売株式会社

東京都港区三田3丁目11番28号

(71)出願人 391007873

株式会社半導体プロセス研究所

東京都港区港南2-13-29

(72)発明者 前田 和夫

東京都港区港南2-13-29 株式会社半導
体プロセス研究所内

(74)代理人 100091672

弁理士 岡本 啓三

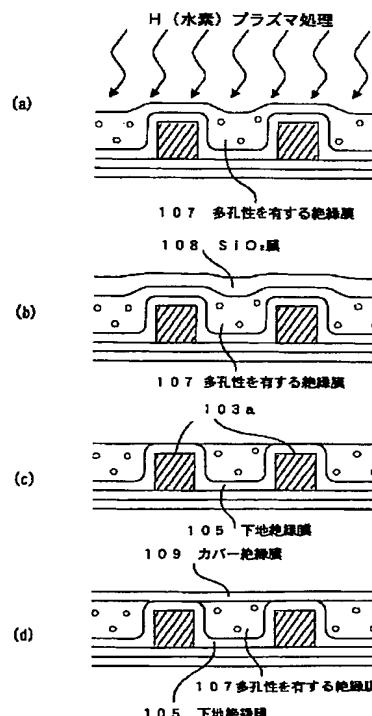
最終頁に続く

(54)【発明の名称】層間絶縁膜の形成方法及び半導体装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】耐吸湿性、及び、耐熱性が良い低誘電率層間絶縁膜の形成方法、及び、それを用いた半導体装置を提供すること。

【解決手段】SiとCを含む化合物をプラズマ重合させ、Si-C膜、又は、Si-C-H膜106を下地絶縁膜105上に形成し、前記Si-C膜、又は、Si-C-H膜をO₂(酸素)プラズマにより酸化し、多孔性を有するSiO₂膜を形成107し、該多孔性を有するSiO₂膜107をH(水素)プラズマ処理し、該多孔性を有するSiO₂膜107の上部にカバー絶縁膜109を形成する、層間絶縁膜の形成方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 SiとCを含む化合物をプラズマ重合させ、Si-C膜、又は、Si-C-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C膜、又は、Si-C-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項2】 SiとCを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-O膜、又は、Si-C-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-O膜、又は、前記Si-C-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項3】 SiとCを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項4】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-B膜、又は、Si-C-B-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B膜、又は、前記Si-C-B-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項5】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-B-O膜、又は、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B-O膜、又は、前記Si-C-B-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項6】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項7】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-F膜、又は、Si-C-F-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F膜、又は、前記Si-C-F-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項8】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-F-O膜、又は、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F-O膜、又は、前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有の

10 SiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項9】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項10】 前記BとHを含む化合物はB₂H₆、TMB(B(OCH₃)₃)、TEB(B(OC₂H₅)₃)のいずれか一であることを特徴とする請求項4から請求項6のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項11】 前記CとFを含む化合物はC₂F₆であることを特徴とする請求項7から請求項9のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項12】 前記SiとCを含む化合物はTEO₅、メチルシラン(Si(CH₃)₃)、トリメチルシリルボレート([CH₃)₃SiO]B)のいずれか一であることを特徴とする請求項1から請求項11のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項13】 前記プラズマ重合を行うとき、不活性ガスを添加することを特徴とする請求項1から請求項12のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項14】 前記酸化は、O(酸素)プラズマにより行われることを特徴とする請求項1から請求項13のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項15】 被形成体上に前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜をH(水素)プラズマ処理することを特徴とする請求項1から請求項14のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項16】 前記被形成体上に下地絶縁膜を形成し、

前記下地絶縁膜上に、前記層間絶縁膜を形成することを特徴とする請求項1から請求項15のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項17】 前記被形成体上に前記層間絶縁膜を形成した後、該層間絶縁膜に、パターニングにより、ダマシン溝を形成し、

前記ダマシン溝の側部にサイドウォール絶縁膜を形成し、

前記ダマシン溝の内部に金属膜を埋め込み、前記金属膜上にバリヤメタル層を形成することを特徴とする請求項1から請求項16のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項18】 前記サイドウォール絶縁膜は、前記ダマシン溝を形成後、前記層間絶縁膜の上部、該ダマシン溝の側部、及び、該ダマシン溝の下部に第1の絶縁膜を形成し、

前記第1の絶縁膜を、前記ダマシン溝の側部に形成された該第1の絶縁膜が残り、かつ、該ダマシン溝の底部に

形成された該第1の絶縁膜が除去される程度に異方的にエッチングすることにより形成することを特徴とする請求項17に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項19】前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成することを特徴とする請求項1から請求項18のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項20】請求項1から請求項19のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法により形成された層間絶縁膜を有する半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は層間絶縁膜の形成方法に関し、より詳しくは、高密度化された半導体装置に必要な低誘電率層間絶縁膜の形成方法に関する。近年、半導体装置の高密度化が進んでおり、それに伴い配線間の間隔が狭くなっている。このため、配線間の電気容量が増加するので、低誘電率の層間絶縁膜が要望されている。

【0002】

【従来の技術】近年、LSIデバイスの高密度化、高集積化が進むに従い、配線が微細化、多層化している。それに伴ない配線間の配線容量も増大している。そして、この配線容量の増加に起因する動作速度の低下が著しいので、その改善要求が高まっている。その改善策として、現在層間絶縁膜として用いられているSiO₂よりも誘電率の小さい低誘電率層間絶縁膜を用いて配線間の電気容量を小さくする方法が検討されている。

有機系絶縁膜	比誘電率	熱分解温度(℃)	備考
フッ素樹脂	2.4	420	月刊Semiconductor World 1997年2月号 p82
サイトップ	2.1	400	月刊Semiconductor World 1996年2月号 p90
アモルファステロン	1.9	400	月刊Semiconductor World 1996年2月号 p91

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のSiO₂膜では、膜中のF濃度が増加するにつれて、耐吸湿性が低下するという欠点がある。耐吸湿性の低下は、トランジスター特性や上部バリヤーメタル層の密着性に影響を及ぼすため、深刻な問題となる。また、上記の有機系低誘電率絶縁膜は、Si膜と、SiO₂膜との密着性が悪く剥がれやすい。更に、熱分解温度が400℃前後で、耐熱性が悪いという欠点がある。耐熱性が悪いという欠点は、ウェハーを高温でアニールする際に問題となる。

【0008】本発明は、係る従来例の課題に鑑みて創作されたものであり、耐吸湿性、及び、耐熱性が良い低誘電率層間絶縁膜の形成方法、及び、それを用いた半導体装置の提供を目的とする。

【0003】現在研究されている低誘電率層間絶縁膜の代表的なものとして、①SiOF膜、②有機系低誘電率絶縁膜、がある。これらの膜について、以下に簡単に説明する。

①SiOF膜

SiOF膜は、Fを含んだ反応ガスを用いて、SiO₂中のSi-O結合の一部をSi-F結合に置換することにより形成され、その比誘電率は、膜中のFの濃度が増加するにつれて単調に減少する。

10 【0004】SiOF膜を形成する方法として、いくつかの方法が報告されている（月刊Semiconductor World 1996年2月号、p82参照）。その中で現在最も有望視されているものの1つに、原料ガスとして、SiH₄、O₂、Ar、SiF₄、を用いて、高密度プラズマCVD法（HDP CVD法）により、SiOF膜を形成する方法がある。この方法で形成されたSiOF膜の比誘電率は、3.1～4.0（膜中のF濃度により異なる）であり、従来層間絶縁膜として用いられているSiO₂の比誘電率4.0よりも小さな値となっている。

【0005】②有機系低誘電率絶縁膜

SiOF膜に比べて小さい誘電率（3.0以下）を示す絶縁膜として、有機系低誘電率絶縁膜が注目されている。今までに報告されている有機系低誘電率絶縁膜のいくつかと、その比誘電率、及び、その熱分解温度を表1に示す。

【0006】

【表1】

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題は、第1の発明である、SiとCを含む化合物をプラズマ重合させ、Si-C膜、又は、Si-C-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C膜、又は、Si-C-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0010】または、第2の発明である、SiとCを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-O膜、又は、Si-C-O-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-O膜、又は、前記Si-C-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第3の発明である、SiとCを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-O-H膜を被形成体上

に形成し、前記Si-C-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0011】または、第4の発明である、SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-B膜、又は、Si-C-B-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-B膜、又は、前記Si-C-B-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0012】または、第5の発明である、SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-B-O膜、又は、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-B-O膜、又は、前記Si-C-B-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0013】または、第6の発明である、SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-B-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第7の発明である、SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-F膜、又は、Si-C-F-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-F膜、又は、前記Si-C-F-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0014】または、第8の発明である、SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、O₂とをプラズマ重合させ、Si-C-F-O膜、又は、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0015】または、第9の発明である、SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、H₂Oとをプラズマ重合させ、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第10の発明である、前記BとHを含む化合物はB₂H₆、TMB(B(OCH₃)₃)、TEB(B(OC₂H₅)₃)のいずれか一であることを特徴とする第4の発明から第6の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0016】または、第11の発明である、前記CとFを含む化合物はC₂F₆であることを特徴とする第7の発明から第9の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形

成方法によって解決する。または、第12の発明である、前記SiとCを含む化合物はTEOS、メチルシリコン(Si(CH₃)₂H₃)、トリメチルシリルボレート([Si(CH₃)₃SiO]_nB)のいずれか一であることを特徴とする第1の発明から第11発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0017】または、第13の発明である、前記プラズマ重合を行うとき、不活性ガスを添加することを特徴とする第1の発明から第12の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第14の発明である、前記酸化は、O(酸素)プラズマにより行われることを特徴とする第1の発明から第13の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0018】または、第15の発明である、被形成体上に前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜をH(水素)プラズマ処理することを特徴とする第1の発明から第14の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第16の発明である、被形成体上に下地絶縁膜を形成し、前記下地絶縁膜上に、前記層間絶縁膜を形成することを特徴とする第1の発明から第15の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0019】または、第17の発明である、被形成体上に前記層間絶縁膜を形成した後、該層間絶縁膜に、パテーニングにより、ダマシング溝を形成し、前記ダマシング溝の側部にサイドウォール絶縁膜を形成し、前記ダマシング溝の内部に金属膜を埋め込み、前記金属膜上にバリヤメタル層を形成することを特徴とする第1の発明から第16の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0020】または、第18の発明である、前記サイドウォール絶縁膜は、前記ダマシング溝を形成後、前記層間絶縁膜の上部、該ダマシング溝の側部、及び、該ダマシング溝の下部に第1の絶縁膜を形成し、前記第1の絶縁膜を、前記ダマシング溝の側部に形成された該第1の絶縁膜が残り、かつ、該ダマシング溝の底部に形成された該第1の絶縁膜が除去される程度に異方的にエッチングすることにより形成することを特徴とする第17の発明に記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0021】または、第19の発明である、前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成することを特徴とする第1の発明から第18の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第20の発明である、第1の発明から第19の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法により形成された層間絶縁膜を有する半導体装置によって解決する。

【0022】次ぎに、本発明に係る層間絶縁膜について、表2を用いて説明する。本発明に係る多孔性を有す

る SiO_2 膜を形成する場合は、反応ガスとして、 TEOS 、 $\text{TEOS} + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を O (酸素)プラズマ処理することにより、膜中のC、又はHが酸化される。膜中でC、又はHが酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有する SiO_2 膜が形成される。なお、上記の TEOS に代えて、メチルシラン($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}_3$)を用いても、多孔性を有する SiO_2 膜を形成することができる。

【0023】また、本発明に係る多孔性を有するB含有の SiO_2 膜を形成する場合は、反応ガスとして、 $\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を O (酸素)プラズマ処理することにより、膜中のC、又はHが酸化される。膜中でC、又はHが酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜が形成される。なお、上記反応ガス中の TEOS に代えて、メチルシラン(Si

$(\text{CH}_3)_3\text{H}_3$)、又はトリメチルシリルボレート($(\text{CH}_3)_3\text{SiO}_2\text{B}$)を用いても、多孔性を有するB(ホウ素)含有の SiO_2 膜を形成することができる。また、上記反応ガス中の B_2H_6 に代えて、 TMB ($\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)、又は TEB ($\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)を用いても、多孔性を有するB(ホウ素)含有の SiO_2 膜を形成することができる。

【0024】そして、本発明に係る多孔性を有するF含有の SiO_2 膜を形成する場合は、反応ガスとして、 $\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を O (酸素)プラズマ処理することにより、膜中のC、又はHが酸化される。膜中でC、又はHが酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有するF含有の SiO_2 膜が形成される。なお、上記の TEOS に代えて、メチルシラン($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}_3$)を用いても多孔性を有するF含有の SiO_2 膜を形成することができる。

【0025】

【表2】

多孔性を有する膜	反応ガス	プラズマ重合により得られる膜
SiO_2 膜	TEOS	$\text{Si}-\text{C}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{O}_3$	$\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜
B含有 SiO_2 膜	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{O}_3$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜
F含有 SiO_2 膜	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{O}_3$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜

注1) 上記反応ガス中の TEOS に代えて、メチルシラン($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}_3$)を用いても多孔性を有する膜を形成することができる。

注2) B含有 SiO_2 膜を形成する場合は、 TEOS の代わりにメチルシラン($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}_3$)を用いても良いし、また、トリメチルシリルボレート($(\text{CH}_3)_3\text{SiO}_2\text{B}$)を用いても、多孔性を有するB含有 SiO_2 膜を形成することができる。更に、 B_2H_6 に代えて、 TMB ($\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)、 TEB ($\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)を用いても、多孔性を有するB含有 SiO_2 膜を形成することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】次ぎに、図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明する。

(第1の実施の形態) 図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第1の実施の形態を説明するための断面図である。

【0027】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0028】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上に SiO_2 膜105(下地絶縁膜)を形成

する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜105の膜厚は1000Åである。このSiO₂膜105により、H₂Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0029】 続いて、図1(c)に示すように、SiO₂膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素、又は、炭素と水素とを含む膜(以下、Si-C(-H)と書く)106を形成する。このSi-C(-H)膜106は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Oxide-Silicate)を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このSi-C(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0030】 次ぎに、図1(d)に示すように、Si-C(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C(-H)膜106は多孔性を有するSiO₂膜107となる。

【0031】 続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107の上に、SiO₂膜108を形成する。このSiO₂膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O₃とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO₃の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO₂膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0032】 次ぎに、図2(c)に示すように、SiO₂膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO₂膜105の一部、及び、SiO₂膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO₂膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0033】 続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO₂膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜108は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO₂膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわ

ち、SiO₂膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜107の上部に通常のSiO₂膜109が形成されているため、SiO₂膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0034】 (第2の実施の形態) 第2の実施の形態は、第1の実施の形態をダマシングプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第2の実施の形態を説明するための断面図である。

【0035】 まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO₂膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。

【0036】 続いて、図3(c)に示すように、SiO₂膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C(-H)膜206を形成する。このSi-C(-H)膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Oxide-Silicate)を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このSi-C(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0037】 次ぎに、図3(d)に示すように、Si-C(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C(-H)膜206は多孔性を有するSiO₂膜207となる。

【0038】 続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、SiO₂膜207をパターニングにより開孔し、ダマシング溝208を形成する。このダマシング溝208は、SiO₂膜207の下部に形成されているSiO₂膜205まで通じている。

【0039】 次ぎに、図4(c)に示すように、SiO₂膜207の上部、及び、ダマシング溝208の側部と下部にSiO₂膜209(第1の絶縁膜)を形成する。こ

のSiO₂膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。ダマシン溝208の側部に形成されるSiO₂膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するSiO₂膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0040】次ぎに、図4(d)に示すように、SiO₂膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205(下地絶縁膜)を異方向にエッチングする。これにより、SiO₂膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0041】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、SiO₂膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5(b)に示すように、SiO₂膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0042】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成されるSiO₂膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0043】続いて、図6(a)に示すように、SiO₂膜207及びTiN膜211aの上部に、SiO₂膜212(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、SiO₂膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜207の上部に通常のSiO₂膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、SiO₂膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0044】(第3の実施の形態) 図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第3の実施の形態を説明するための断面図である。まず、図1(a)

に示すように、シリコン基板101上にBPSG(boronophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0045】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO₂膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜105の膜厚は1000Åである。このSiO₂膜105により、H₂Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0046】続いて、図1(c)に示すように、SiO₂膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素、又は、炭素と水素とを含む膜(以下、Si-C(-H)と書く)106を形成する。このSi-C(-H)膜106は、反応ガスとしてSiH₄とH₂Oとを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzで、パワーが300WであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、SiH₄が30scmであり、H₂Oが60scmである。このSi-C(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0047】次ぎに、図1(d)に示すように、Si-C(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C(-H)膜106は多孔性を有するSiO₂膜107となる。

【0048】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107の上に、SiO₂膜108を形成する。このSiO₂膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O₃とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO₃の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO₂膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0049】次ぎに、図2(c)に示すように、SiO₂膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO₂膜105の一部、及び、SiO₂膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸

部103a上に形成されたSiO₂膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0050】 続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO₂膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜108は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO₂膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、SiO₂膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜107の上部に通常のSiO₂膜109が形成されているため、SiO₂膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0051】 (第4の実施の形態) 第4の実施の形態は、第3の実施の形態をダマシングプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第2の実施の形態を説明するための断面図である。

【0052】 まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO₂膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。

【0053】 続いて、図3(c)に示すように、SiO₂膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C(-H)膜206を形成する。このSi-C(-H)膜206は、反応ガスとしてSiH₄とH₂Oとを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzで、パワーが300WであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、SiH₄が30scmであり、H₂Oが60scmである。このSi-C(-H)膜206の膜厚は5000Åである。

【0054】 次ぎに、図3(d)に示すように、Si-C(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C(-H)膜206は多孔性を有するSiO₂膜207となる。

【0055】 続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、SiO₂膜207をパターニングにより開孔し、ダマシング溝208を形成する。このダマシング溝208は、SiO₂膜207の下部に形成されているSiO₂膜205まで通じている。

【0056】 次ぎに、図4(c)に示すように、SiO₂膜207の上部、及び、ダマシング溝208の側部と下部にSiO₂膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。ダマシング溝208の側部に形成されるSiO₂膜209により、後でダマシング溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するSiO₂膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0057】 次ぎに、図4(d)に示すように、SiO₂膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシング溝208の下部に形成されているSiO₂膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、SiO₂膜209は、ダマシング溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシング溝208の下部に形成されているSiO₂膜205が除去されるため、ダマシング溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0058】 続いて、図5(a)に示すように、ダマシング溝208の内部、及び、SiO₂膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシング溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5(b)に示すように、SiO₂膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシング溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0059】 続いて、図5(c)に示すように、ダマシング溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシング溝208の内部のCuが、後でダマシング溝208の上部に形成されるSiO₂膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシング溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0060】 続いて、図6(a)に示すように、SiO₂膜207及びTiN膜211aの上部に、SiO₂膜212(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガストしてSiH₄とN₂Oを用いる。以上により、被形成体2

04の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、SiO₂膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜207の上部に通常のSiO₂膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、SiO₂膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0061】(第5の実施の形態) 第5の実施の形態が第1から第4の実施の形態と異なる点は、TEOSとO₂とをプラズマ重合させることにより、炭素と酸素、又は、炭素と酸素と水素とを含む膜(以下、Si-C-O(-H)膜と書く)を形成する点である。図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第5の実施の形態を説明するための断面図である。

【0062】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0063】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO₂膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜105の膜厚は1000Åである。このSiO₂膜105により、H₂Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0064】続いて、図1(c)に示すように、SiO₂膜105(下地絶縁膜)の上に、Si-C-O(-H)膜106を形成する。このSi-C-O(-H)膜106は、TEOSとO₂とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30scm³であり、O₂が240scm³である。このSi-C-O(-H)膜106の膜厚は500Åである。

【0065】次ぎに、図1(d)に示すように、Si-C-O(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-O(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-O(-H)膜106は多孔性を有するSiO₂膜107となる。

【0066】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中

10

20

30

40

50

のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜107の上に、SiO₂膜108を形成する。このSiO₂膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O₃とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO₃の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO₂膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0067】次ぎに、図2(c)に示すように、SiO₂膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO₂膜105の一部、及び、SiO₂膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO₂膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0068】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO₂膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO₂膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、SiO₂膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜107の上部に通常のSiO₂膜109が形成されているため、SiO₂膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0069】(第6の実施の形態) 第6の実施の形態は、第5の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第6の実施の形態を説明するための断面図である。

【0070】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO₂膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。

【0071】続いて、図3(c)に示すように、SiO₂膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C-O(-H)膜206を形成する。このSi-C-O(-H)膜206は形成する。

206は、TEOSとO₂とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、O₂が240sccmである。このSi-C-O(-H)膜206の膜厚は5000Åである。

【0072】次ぎに、図3(d)に示すように、Si-C-O(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-O(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-O(-H)膜206は多孔性を有するSiO₂膜207となる。

【0073】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するSiO₂膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、SiO₂膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、SiO₂膜207の下部に形成されているSiO₂膜205まで通じている。

【0074】次ぎに、図4(c)に示すように、SiO₂膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部にSiO₂膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。ダマシン溝208の側部に形成されるSiO₂膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するSiO₂膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0075】次ぎに、図4(d)に示すように、SiO₂膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッティングする。これにより、SiO₂膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205が除去されたため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0076】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、SiO₂膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5(b)に示すように、SiO₂膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0077】続いて、図5(c)に示すように、ダマシ

ン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成されるSiO₂膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッティングして除去する。

【0078】続いて、図6(a)に示すように、SiO₂膜207及びTiN膜211aの上部に、SiO₂膜212(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、SiO₂膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO₂膜207の上部に通常のSiO₂膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、SiO₂膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0079】(第7の実施の形態) 第7の実施の形態が、第1の実施の形態から第6の実施の形態と異なる点は、多孔性を有するSiO₂膜を形成する代わりに、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する点である。図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第5の実施の形態を説明するための断面図である。

【0080】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0081】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO₂膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜105の膜厚は1000Åである。このSiO₂膜105により、H₂Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0082】続いて、図1(c)に示すように、SiO₂膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素とホウ素、又は、炭素とホウ素と水素とを含む膜(以下、Si-C-B(-H)膜と書く)106を形成する。このSi-C-B(-H)膜106は、反応ガスとしてTEOSとB₂H₆とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を

印加し、圧力が1 Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30scmであり、B₂H₆が24scmである。このSi-C-B(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0083】次ぎに、図1(d)に示すように、Si-C-B(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-B(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-B(-H)膜106は、多孔性を有するB含有のSiO₂膜107となる。

【0084】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO₂膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO₂膜107の上に、SiO₂膜108を形成する。このSiO₂膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O₃とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO₃の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO₂膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0085】次ぎに、図2(c)に示すように、SiO₂膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO₂膜105の一部、及び、B含有のSiO₂膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO₂膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0086】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO₂膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO₂膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及び、B含有のSiO₂膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、B含有のSiO₂膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有のSiO₂膜107の上部に通常のSiO₂膜109が形成されているため、B含有のSiO₂膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜105、109、及び、B含有のSiO₂膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0087】(第8の実施の形態) 第8の実施の形態は、第7の実施の形態をダマシングプロセスに適用したも

のである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第8の実施の形態を説明するための断面図である。

【0088】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO₂膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。

【0089】続いて、図3(c)に示すように、SiO₂膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C-B(-H)膜206を形成する。このSi-C-B(-H)膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)とB₂H₆を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30scmであり、B₂H₆が24scmである。このSi-C-B(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0090】次ぎに、図3(d)に示すように、Si-C-B(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-B(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-B(-H)膜206は多孔性を有するB含有のSiO₂膜207となる。

【0091】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO₂膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、B含有SiO₂膜207をパターニングにより開孔し、ダマシング溝208を形成する。このダマシング溝208は、B含有のSiO₂膜207の下部に形成されているSiO₂膜205まで通じている。

【0092】次ぎに、図4(c)に示すように、B含有のSiO₂膜207の上部、及び、ダマシング溝208の側部と下部にSiO₂膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。ダマシング溝208の側部に形成されるSiO₂膜209により、後でダマシング溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有のSiO₂膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0093】次ぎに、図4 (d) に示すように、 SiO_2 膜209 (第1の絶縁膜) 、及び、ダマシン溝208 の下部に形成されている SiO_2 膜205 (下地絶縁膜) を異方的にエッチングする。これにより、 SiO_2 膜209は、ダマシン溝208 の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208 の下部に形成されている SiO_2 膜205が除去されるため、ダマシン溝208 の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0094】続いて、図5 (a) に示すように、ダマシン溝208 の内部、及び、B含有の SiO_2 膜207の上部に Cu メッキ膜210を形成する。ダマシン溝208 の内部に形成される Cu メッキ膜210は、 Cu 配線として用いられるものである。次ぎに、図5 (b) に示すように、B含有の SiO_2 膜207の上部に形成された Cu メッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208 の内部にのみ Cu メッキ膜が残ることになる。

【0095】続いて、図5 (c) に示すように、ダマシン溝208 上部にバリヤメタル用の TiN 膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208 の内部の Cu が、後でダマシン溝208 の上部に形成される SiO_2 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5 (d) に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208 の上部に形成された TiN 膜211aを残して、他の部分に形成された TiN 膜211をエッチングして除去する。

【0096】続いて、図6 (a) に示すように、B含有の SiO_2 膜207及び TiN 膜211aの上部に、 SiO_2 膜212 (カバー絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、B含有の SiO_2 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の SiO_2 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜207の上部に通常の SiO_2 膜212 (カバー絶縁膜) が形成されているため、B含有の SiO_2 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、B含有の SiO_2 膜207と SiO_2 膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0097】(第9の実施の形態) 第9の実施の形態は、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜を形成するために、炭素とホウ素と酸素、又は、炭素とホウ素と酸素及び水素を含む膜 (以下、 $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜と書く) を形成する。図1の (a) ~ (d) 、及び、図2の (a) ~ (d) は、第9の実施の形態を説明するための断面図である。

【0098】まず、図1 (a) に示すように、シリコン

10

20

30

40

50

基板101上にBPSG (borophosphosilicate glass) 膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0099】次ぎに、図1 (b) に示すように、被形成体104の上に SiO_2 膜105 (下地絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。この SiO_2 膜105の膜厚は1000 Åである。この SiO_2 膜105により、 H_2O がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0100】続いて、図1 (c) に示すように、 SiO_2 膜105 (下地絶縁膜) の上に、 $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106を形成する。この $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106は、TEOSと、 B_2H_6 と、 O_2 とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30 sccm、 B_2H_6 が24 sccm、 O_2 が260 sccmである。この $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000 Åである。

【0101】次ぎに、図1 (d) に示すように、 $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106に対しO (酸素) プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-B-O}(-\text{H})$ 膜106は多孔性を有するB含有の SiO_2 膜107となる。

【0102】続いて、図2 (a) に示すように、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜107に対してH (水素) プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中の Si のダンギングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b) に示すように、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜107の上に、 SiO_2 膜108を形成する。この SiO_2 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 O_3 とを含むCVD法 (化学的気相成長法) により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる O_3 の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 SiO_2 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0103】次ぎに、図2 (c) に示すように、 SiO_2 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された SiO_2 膜105の一部、及び、B含有の SiO_2 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された SiO_2 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0104】 続いて、図2 (d) に示すように、平坦化された表面上に、 SiO_2 膜109 (カバー絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。この SiO_2 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された SiO_2 膜105 (下地絶縁膜) 、109 (カバー絶縁膜) 、及びB含有の SiO_2 膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、B含有の SiO_2 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の SiO_2 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜107の上部に通常の SiO_2 膜109が形成されているため、B含有の SiO_2 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 SiO_2 膜105、109、及び、B含有の SiO_2 膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0105】 (第10の実施の形態) 第10の実施の形態は、第9の実施の形態をダマシングプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第9の実施の形態を説明するための断面図である。

【0106】 まず、図3 (a) に示すように、シリコン基板201上にBPSG (borophosphosilicate glass) 膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3 (b) に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの SiO_2 膜205 (下地絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。

【0107】 続いて、図3 (c) に示すように、 SiO_2 膜205 (下地絶縁膜) の上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206は、反応ガスとしてTEOS (Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate) と、 B_2H_6 と、 O_2 とを用い、それらをプラズマ重合することにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccm、 B_2H_6 が24sccm、 O_2 が260scmである。この $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206の膜厚は5000Åである。

【0108】 次ぎに、図3 (d) に示すように、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206に対しO (酸素) プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206は多孔性を有するB含有の SiO_2 膜207となる。

【0109】 続いて、図4 (a) に示すように、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜207に対してH (水素) プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中の Si のダンギングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b) に示すように、B含有 SiO_2 膜207をパターニングにより開孔し、ダマシング溝208を形成する。このダマシング溝208は、B含有の SiO_2 膜207の下部に形成されている SiO_2 膜205まで通じている。

【0110】 次ぎに、図4 (c) に示すように、B含有の SiO_2 膜207の上部、及び、ダマシング溝208の側部と下部に SiO_2 膜209 (第1の絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。ダマシング溝208の側部に形成される SiO_2 膜209により、後でダマシング溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0111】 次ぎに、図4 (d) に示すように、 SiO_2 膜209 (第1の絶縁膜) 、及び、ダマシング溝208の下部に形成されている SiO_2 膜205 (下地絶縁膜) を異方的にエッチングする。これにより、 SiO_2 膜209は、ダマシング溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシング溝208の下部に形成されている SiO_2 膜205が除去されるため、ダマシング溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0112】 続いて、図5 (a) に示すように、ダマシング溝208の内部、及び、B含有の SiO_2 膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシング溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5 (b) に示すように、B含有の SiO_2 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシング溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0113】 続いて、図5 (c) に示すように、ダマシング溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシング溝208の内部のCuが、後でダマシング溝208の上部に形成される SiO_2 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5 (d) に示すように、パターニングにより、ダマシング溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0114】 続いて、図6 (a) に示すように、B含有の SiO_2 膜207及びTiN膜211aの上部に、 SiO_2 膜212 (カバー絶縁膜) を形成する。この SiO_2 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。以上により、被

形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、B含有のSiO₂膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有のSiO₂膜207の上部に通常のSiO₂膜212（カバー絶縁膜）が形成されているため、B含有のSiO₂膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、B含有のSiO₂膜207とSiO₂膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0115】（第11の実施の形態）第11の実施の形態が、第1の実施の形態から第10の実施の形態と異なる点は、多孔性を有するSiO₂膜、又は、多孔性を有するB含有のSiO₂膜を形成する代わりに、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成する点である。図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第11の実施の形態を説明するための断面図である。

【0116】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0117】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO₂膜105（下地絶縁膜）を形成する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜105の膜厚は1000Åである。このSiO₂膜105により、H₂Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0118】続いて、図1(c)に示すように、SiO₂膜105（下地絶縁膜）の上に、炭素とフッ素、又は、炭素とフッ素と水素とを含む膜（以下、Si-C-F(-H)膜と書く）106を形成する。このSi-C-F(-H)膜106は、反応ガスとしてTEOSとC₂F₆とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、C₂F₆が5scmである。このSi-C-F(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0119】次ぎに、図1(d)に示すように、Si-C-F(-H)膜106に対しO（酸素）プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-F(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-F(-H)膜106は、多孔性を有するF含有のSiO₂膜1

07となる。

【0120】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するF含有のSiO₂膜107に対してH（水素）プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有するF含有のSiO₂膜107の上に、SiO₂膜108を形成する。このSiO₂膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O₃とを含むCVD法（化学的気相成長法）により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO₃の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO₂膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0121】次ぎに、図2(c)に示すように、SiO₂膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO₂膜105の一部、及び、F含有のSiO₂膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO₂膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0122】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO₂膜109（カバー絶縁膜）を形成する。このSiO₂膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。このSiO₂膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO₂膜105（下地絶縁膜）、109（カバー絶縁膜）及び、F含有のSiO₂膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、F含有のSiO₂膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有のSiO₂膜107の上部に通常のSiO₂膜109が形成されているため、F含有のSiO₂膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO₂膜105、109、及び、F含有のSiO₂膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0123】（第12の実施の形態）第12の実施の形態は、第11の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第10の実施の形態を説明するための断面図である。

【0124】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO₂膜205（下地絶縁膜）を形成する。このSiO₂膜

205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。

【0125】続いて、図3(c)に示すように、SiO₂膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C-F(-H)膜206を形成する。このSi-C-F(-H)膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)とC₂F₆を用い、シリコン基板101を100°Cに保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、C₂F₆が5sccmである。このSi-C-F(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0126】次ぎに、図3(d)に示すように、Si-C-F(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-F(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-F(-H)膜206は多孔性を有するF含有のSiO₂膜207となる。

【0127】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するF含有のSiO₂膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダンギングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、F含有SiO₂膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、F含有のSiO₂膜207の下部に形成されているSiO₂膜205まで通じている。

【0128】次ぎに、図4(c)に示すように、F含有のSiO₂膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部にSiO₂膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。ダマシン溝208の側部に形成されるSiO₂膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有のSiO₂膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0129】次ぎに、図4(d)に示すように、SiO₂膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッティングする。これにより、SiO₂膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO₂膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0130】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、F含有のSiO₂膜207の

上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5(b)に示すように、F含有のSiO₂膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0131】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成されるSiO₂膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッティングして除去する。

【0132】続いて、図6(a)に示すように、F含有のSiO₂膜207及びTiN膜211aの上部に、SiO₂膜212(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されることになる。すなわち、F含有のSiO₂膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO₂膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有のSiO₂膜207の上部に通常のSiO₂膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、F含有のSiO₂膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、F含有のSiO₂膜207とSiO₂膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0133】(第13の実施の形態) 第13の実施の形態は、多孔性を有するF含有のSiO₂膜を形成するために、炭素とフッ素と酸素、又は、炭素とフッ素と酸素及び水素を含む膜(以下、Si-C-F-O(-H)膜と書く)を形成する。図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第13の実施の形態を説明するための断面図である。

【0134】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0135】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO₂膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO₂膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH₄とN₂Oを用い

る。この SiO_2 膜105の膜厚は1000Åである。この SiO_2 膜105により、 H_2O がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0136】続いて、図1(c)に示すように、 SiO_2 膜105(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106を形成する。この $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106は、TEOSと、 C_2F_6 と、 O_2 とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccm、 C_2F_6 が5sccm、 O_2 が260scmである。この $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000Åである。

【0137】次ぎに、図1(d)に示すように、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106は多孔性を有するF含有の SiO_2 膜107となる。

【0138】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するF含有の SiO_2 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中の Si のダングリングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b)に示すように、多孔性を有するF含有の SiO_2 膜107の上に、 SiO_2 膜108を形成する。この SiO_2 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 O_3 とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる O_3 の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 SiO_2 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0139】次ぎに、図2(c)に示すように、 SiO_2 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された SiO_2 膜105の一部、及び、F含有の SiO_2 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された SiO_2 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0140】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 SiO_2 膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この SiO_2 膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。この SiO_2 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された SiO_2 膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及びF含有の SiO_2 膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有の SiO_2 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の SiO_2 膜よ

りも小さくなる。また、多孔性を有する SiO_2 膜107の上部に通常の SiO_2 膜109が形成されているため、F含有の SiO_2 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 SiO_2 膜105、109、及び、F含有の SiO_2 膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0141】(第14の実施の形態) 第14の実施の形態は、第13の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)～(d)、図4の(a)～(d)、図5の(a)～(d)、及び、図6の(a)は第14の実施の形態を説明するための断面図である。

【0142】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの SiO_2 膜205(下地絶縁膜)を形成する。この SiO_2 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。

【0143】続いて、図3(c)に示すように、 SiO_2 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Otetho-Silicate)と、 C_2F_6 と、 O_2 とを用い、それらをプラズマ重合することにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30scm、 C_2F_6 が5scm、 O_2 が260scmである。この $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206の膜厚は5000Åである。

【0144】次ぎに、図3(d)に示すように、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206は多孔性を有するF含有の SiO_2 膜207となる。

【0145】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するF含有の SiO_2 膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中の Si のダングリングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、B含有 SiO_2 膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、F含有の SiO_2 膜207の下部に形成されている SiO_2 膜205まで通じている。

【0146】次ぎに、図4(c)に示すように、F含有の SiO_2 膜207の上部、及び、ダマシン溝208の

側部と下部に SiO_2 膜 209（第1の絶縁膜）を形成する。この SiO_2 膜 209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。ダマシン溝 208 の側部に形成される SiO_2 膜 209により、後でダマシン溝 208 の内部に埋め込まれる Cu が、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜 207 の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0147】次ぎに、図4 (d) に示すように、 SiO_2 膜 209、及び、ダマシン溝 208 の下部に形成されている SiO_2 膜 205（下地絶縁膜）を異方的にエッチングする。これにより、 SiO_2 膜 209（第1の絶縁膜）は、ダマシン溝 208 の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝 208 の下部に形成されている SiO_2 膜 205が除去されたため、ダマシン溝 208 の下部に、アルミニウム配線層 203 に通じるコンタクトホールが形成される。

【0148】続いて、図5 (a) に示すように、ダマシン溝 208 の内部、及び、B含有の SiO_2 膜 207 の上部に Cu メッキ膜 210 を形成する。ダマシン溝 208 の内部に形成される Cu メッキ膜 210 は、 Cu 配線として用いられるものである。次ぎに、図5 (b) に示すように、F含有の SiO_2 膜 207 の上部に形成された Cu メッキ膜 210 を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝 208 の内部にのみ Cu メッキ膜が残ることになる。

【0149】続いて、図5 (c) に示すように、ダマシン溝 208 上部にバリヤメタル用の TiN 膜 211 を形成する。これにより、ダマシン溝 208 の内部の Cu が、後でダマシン溝 208 の上部に形成される SiO_2 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5 (d) に示すように、パターニングにより、ダマシン溝 208 の上部に形成された TiN 膜 211a を残して、他の部分に形成された TiN 膜 211 をエッチングして除去する。

【0150】続いて、図6 (a) に示すように、F含有の SiO_2 膜 207 及び TiN 膜 211a の上部に、 SiO_2 膜 212（カバー絶縁膜）を形成する。この SiO_2 膜 212 は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして SiH_4 と N_2O を用いる。以上により、被形成体 204 の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有の SiO_2 膜 207 が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の SiO_2 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有の SiO_2 膜 207 の上部に通常の SiO_2 膜 212（カバー絶縁膜）が形成されているため、 SiO_2 膜 207 の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、F含有の SiO_2 膜 207 と SiO_2 膜 212 は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0151】

【発明の効果】以上、本発明にかかる層間絶縁膜の形成方法においては、被形成体上に多孔性を有する SiO_2 膜、多孔性を有するB含有の SiO_2 膜、又は多孔性を有するF含有の SiO_2 膜を形成する。これらの絶縁膜の比誘電率は 2.0 ~ 3.0 となり、多孔性を有さない通常の SiO_2 膜の比誘電率 4.0 に比べて小さくなる。

【0152】そして、これらの多孔性を有する絶縁膜は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。また、これらの多孔性を有する絶縁膜に対し、H（水素）プラズマ処理を行う。これにより、膜中に形成される空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中の Si のダンギングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置換され、膜の耐吸湿性が良くなる。更に、これらの多孔性を有する絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成する。これにより、膜の耐吸湿性が更に良くなる。

【0153】また、この多孔性を有する絶縁膜を、ダマシンプロセスに適用することができる。ダマシンプロセスでは、電気抵抗の少ない Cu 配線層を形成することができる。そのため、この多孔性を有する絶縁膜と Cu 配線層を併用することにより、配線容量の少ない、データ処理速度の速い半導体装置を作ることができる。これにより、LSI等の半導体装置に、本発明に係る多孔性を有する絶縁膜を用いれば、データ処理速度を従来に比べて高速化することが可能となる。即ち、本発明における多孔性を有する絶縁膜は、従来用いられている SiO_2 膜に比べて比誘電率が低いので、配線間の電気容量を減らすことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態、第3の実施の形態、第5の実施の形態、第7の実施の形態、第9の実施の形態、第11の実施の形態、及び第13の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その1）である。

【図2】 本発明の第1の実施の形態、第3の実施の形態、第5の実施の形態、第7の実施の形態、第9の実施の形態、第11の実施の形態、及び第13の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その2）である。

【図3】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その1）である。

【図4】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その2）である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実

施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その3）である。

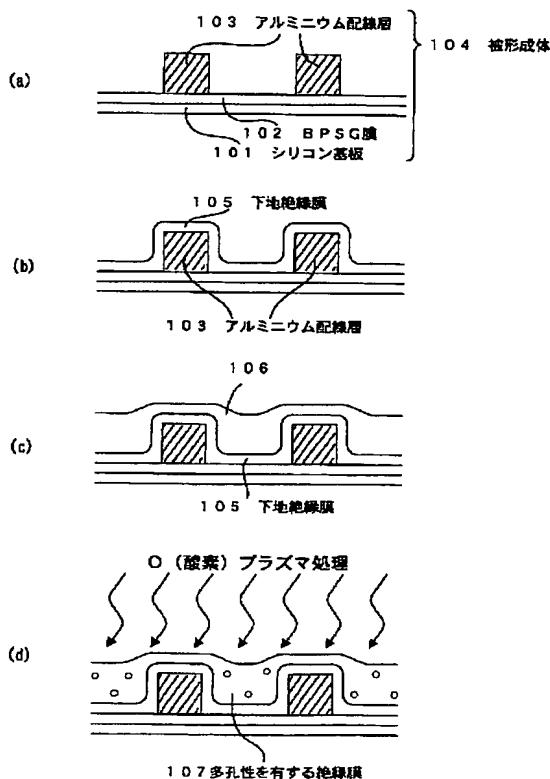
【図6】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その4）である。

【符号の説明】

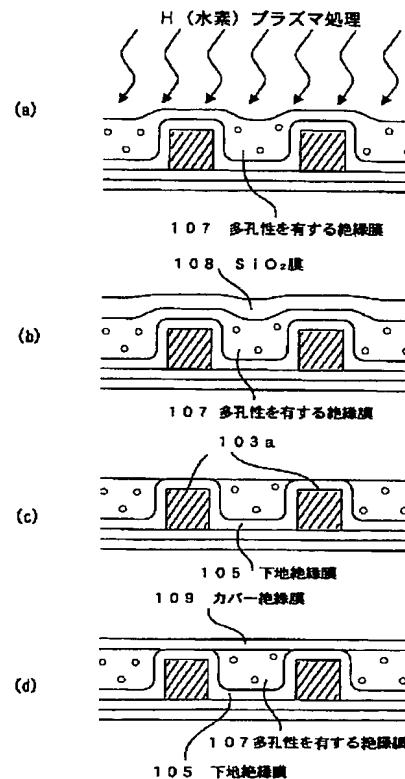
- 101、201 シリコン基板、
- 102、202 BPSG (borophosphosilicate glass) 膜、
- 103、203 アルミニウム配線層、
- 103a アルミニウム配線層の凸部、
- 104、204 被形成体、

- 105、205 プラズマSiO₂膜（下地絶縁膜）、
- 106、206 炭素、ホウ素、フッ素、酸素、又は、水素を含む膜、
- 107、207 多孔性を有するSiO₂膜、多孔性を有するB含有のSiO₂膜、又は、多孔性を有するF含有のSiO₂膜、
- 108 (TEOS+O₃) SiO₂膜、
- 109、212 プラズマSiO₂膜（カバー絶縁膜）,
- 10 208 ダマシン溝、
- 209 プラズマSiO₂膜（第1の絶縁膜）、
- 210 Cuメッキ膜、
- 211 TiN膜（バリヤメタル層）、
- 211a ダマシン溝上部のTiN膜（バリヤメタル層）。

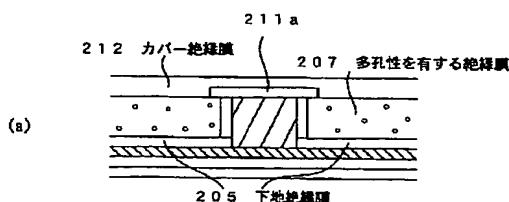
【図1】



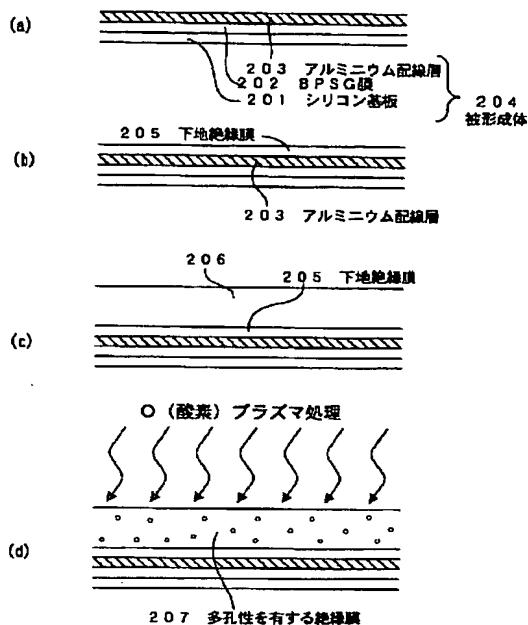
【図2】



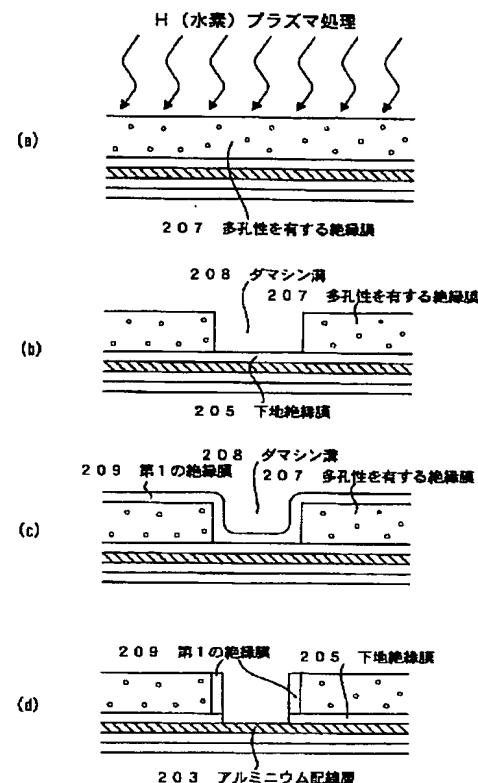
【図6】



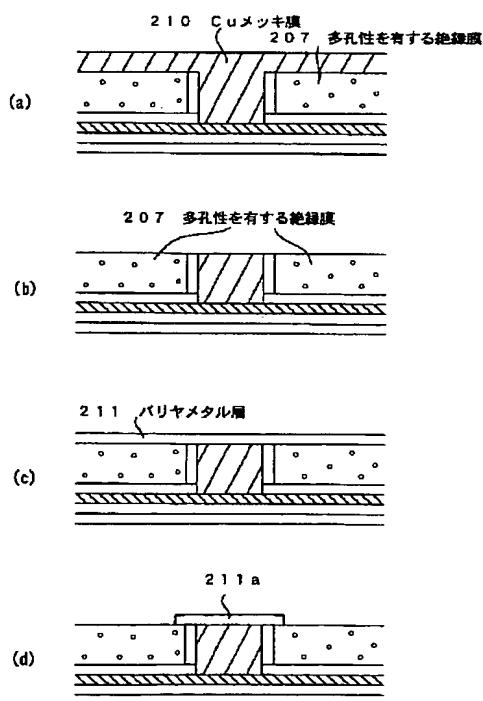
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F033 HH08 HH11 HH33 JJ11 KK08
MM02 MM05 MM13 PP27 PP28
QQ00 QQ48 QQ89 RR04 RR11
RR13 RR15 SS01 SS02 SS03
SS04 SS15 TT02 TT06 TT07
XX01 XX24 XX27
5F058 BA07 BA20 BD02 BD04 BD06
BD18 BF07 BF23 BF25 BF29
BF32 BH16 BH20 BJ01 BJ02